



EESTI MAAÜLIKOOL
Metsanduse ja inseneeria instituut

Karel Kaja

**AEGJÄRKSE RAIE MÕJU MÄNNIKUTE
ALUSTAIMESTIKULE**
THE IMPACT OF REGULAR SHELTERWOOD FELLING ON
UNDERSTOREY VEGETATION IN PINE FORESTS

Bakalaureusetöö
Metsanduse õppekava

Juhendaja: teadur Tea Tullus, *PhD*

Tartu 2023

Eesti Maaülikool Kreutzwaldi 1, Tartu 51006		Bakalaureusetöö lühikokkuvõte	
Autor: Karel Kaja		Õppekava: Metsandus (401)	
Pealkiri: Aegjärgse raie mõju männikute alustaimestikule			
Lehekülgi: 35	Jooniseid: 18	Tabeleid: 1	Lisasid: 0
<p>Õppetool: Metsakasvatus ja metsaökoloogia</p> <p>ETIS-e teadusvaldkond ja CERC S-i kood: Metsandus B430</p> <p>Juhendaja(d): Tea Tullus, <i>PhD</i></p> <p>Kaitsmiskoht ja -aasta: Tartu, 2023</p>			
<p>Järjest rohkem tekitab ühiskonnale muret laialdane lageraie teostamine metsades. Heaks alternatiivseks lahenduseks küpsete metsade majandamisel on teiste turberaieviiside kõrval aegjärgne raie. Käesoleva bakalaureusetöö eesmärgiks on uurida aegjärgse raie mõju männikute alustaimestikule. Töös uuritakse seitsme katseala inventeerimisandmete põhjal muutusi, mis toimuvad peale aegjärgset raiet puhma-rohurinde ja samblarinde liigirikkuses ning liigilises koosseisus. Lisaks tehti välitööde käigus igal püsiprooviruudul puhma-rohurinde kohalt poolsfäärifoto, mida kasutati valgustingimuste hindamiseks. Andmed koguti ühtekokku 96-lt püsiprooviruudult 9-10. aastal pärast raie algust. Kogutud andmeid võrreldi juhendaja poolt enne raiet, 1 aasta peale raiet ja 3-4 aastat peale raiet kogutud andmetega.</p> <p>Töö tulemustest selgus, et raiega põhjustatud häiringu ja valgustingimuste muutuse tõttu osad liigid taanduvad ning juurde lisanduvad valguslembesed pioneerliigid, kuid ca 10 aastat peale raiet on soontaimede ja sammaltaimede arv suurem kui enne raie algust. Lisandunud oli 22 soontaimeliiki ja 4 sammaltaimeliiki, ent samblarinde üldkatvus vähenes oluliselt. Lisaks selgus, et aegjärgse raiega metsa majandamine sobib harilikule mustikale ja harilikule pohlale. Muutused pooleli olevate ja lõpetatud raiealade taimestikulis olid üldiselt sarnased, kuigi lõpetatud alade liigiline koosseis erines oluliselt pooleli aladest. Kokkuvõtvalt võib öelda, et aegjärgne raie on säästev raieviis, mis sobib palumetsades hästi alternatiiviks lageraiele, säilitades looduslikku mitmekesisust ja liigirikkust.</p>			
Märksõnad: Aegjärgne raie, alustaimestik, soontaimed, sammaltaimed, palumetsad			

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51006		Abstract of Bachelor's Thesis	
Author: Karel Kaja		Curriculum: forestry	
Title: The impact of regular shelterwood felling on understorey vegetation in pine forests			
Pages: 35	Figures: 18	Tables: 1	Appendixes: 0
Chair: Silviculture and Forest ecology Field of research and (CERC S) code: Forestry B430 Supervisor: Tea Tullus, <i>PhD</i> Place and date: Tartu, 2023			
<p>Society is more and more concerned about widespread clear-cutting (CC) in forests. A good alternative for the management of mature forests is regular shelterwood (SW) together with other SW cutting methods. The aim of this thesis is to study the effects of regular SW on the understorey vegetation. The study relies on data collected from seven experimental areas and describes the changes in the species richness and composition of vascular plants and bryophytes. Hemispherical photographs were also taken on each plot above the vascular plant layer to describe the light conditions. Data were collected from 96 permanent vegetation plots 9-10 years after the beginning of harvest. Data were compared with pre-harvest, 1 year after felling and 3-4 years after felling data collected by the supervisor.</p> <p>The results showed that due to the disturbance caused by felling and the change in light conditions, some species retreated and light-demanding pioneer species appeared. Therefore, around 10 years after felling the number of vascular plants and bryophytes was higher than pre-harvest. 22 vascular plant species and 4 bryophyte species had added, but the overall coverage of the bryophyte layer had decreased significantly. In addition, it turned out that forest management with regular SW is suitable for bilberry and cowberry. Changes in vegetation characteristics between felling areas with completed or uncompleted SW cycle were in general similar, although compositional differences were evident. In summary, regular SW is a sustainable harvesting method that offers a good alternative to CC in dry boreal forests, preserves biodiversity and species richness.</p>			
Keywords: Regular shelterwood, understorey, vascular plants, bryophytes, dry boreal forests			

SISUKORD

SISSEJUHATUS	5
1. ÜLEVAADE TURBERAIETEST	7
1.1 Turberaied	7
1.2 Turberaie viisid	7
1.2.1 Häilraie	7
1.2.2 Aegjärgne raie	8
1.2.3 Veerraie	9
1.3 Raiete mõju taimestikule	9
2. MATERJAL JA METOODIKA	11
2.1 Katsealade kirjeldus	11
2.2 Taimestiku püsiprooviruudud	12
2.3 Välitööd	13
2.4 Andmeanalüüs	15
3. TULEMUSED JA ARUTELU	17
3.1 Alustaimestiku liigirikkus	17
3.2 Puhma-rohurinde ja samblarinde katvus	20
3.3 Soontaimede ja sammaltaimede liigirikkus prooviruutudel	21
3.4 Hariliku mustika ja hariliku pohla katvus	22
3.5 Võrastiku avatuse tase	23
3.6 Alustaimestiku muutused lõpetamata ja lõpetatud aegjärgse raie katsealadel	24
3.6.1 Puhma-rohu- ja samblarinde üldkatvus	24
3.6.2 Liigirikkus	25
3.6.3 Metsamarjade katvus	26
3.6.4 Liigilise koosseisu muutused	27
3.7 Arutelu	29
KOKKUVÕTE	32
KASUTATUD MATERJAL	34

SISSEJUHATUS

Eesti on üks metsarikkamaid riike maailmas ning mets katab Eesti maismaast ligi poole. Eesti metsad omavad liigirohkust, mis on säilinud tänu sellele, et suur osa metsadest on uuenenud looduslikult ning võõrpuuliike on vähe. Metsaga kaetud alad on väga olulised süsinikuringes, sidudes süsinikku puittaimedes ja metsamullas. (Eesti statistika 2023)

Kõige olulisem taastuv loodusvara Eestis on mets. Lisaks sellele on mets keskkonnakujundaja, paljude taimede ja loomade elupaik ning oluline toorainebaas tööstusele ja energeetikale (Eesti metsanduse arengukava aastani 2020, 2010). Metsa ei saa aga pidada alati ühtemoodi ja kiiresti taastuvaks loodusvaraks. Mõtlematu ja hooletu tegevus või liigne kasuahnus võib metsa oluliselt kahjustada ja võivad tekkida alad, kus tuleb metsa taasteket pikka aega oodata. Selle vältimine on metsamajanduse üheks eesmärgiks olnud juba väga pikka aega ning Eesti metsandus peab olema jätkusuutlik (Laas *et al.* 2011).

Metsa majandamine on jätkusuutlik, kui metsamaa ja metsaresursside majandamine ja kasutamine toimub selliselt, et säilib bioloogiline mitmekesisus, produktiivsus, taastumisvõime ja elujõulisus ning ühtlasi ka nende potentsiaal täita olevikus ja tulevikus ökoloogilisi, majanduslikke ja sotsiaalseid funktsioone kohalikul, riigi ja globaalsel tasandil ning see ei kahjusta teisi ökosüsteeme (Laas *et al.* 2011). Peamiseks kriteeriumiks jätkusuutliku metsamajanduse puhul on pikas perspektiivis metsast saadava ressursi võimalikult ühtlane kasutamine juurdekasvu ulatuses (Eesti metsanduse arengukava aastani 2020, 2010).

Eestis on pikaajaliselt jätkusuutlikuks eesmärgiks kasutada 12-15 milj. m³ metsamaterjali aastas. Selline kogus puitu kasvab hinnanguliselt igal aastal metsa juurde ning sellises koguses metsa kasutamine tagab ühiskonna jaoks pideva tulu (Eesti metsanduse arengukava aastani 2020, 2010). Inimesed vajavad puitu ehituseks, mööbliks, kütteks, paberiks ja paljuks muuks. Selleks, et saaks puitu kasutada, tuleb metsa raiuda, istutada või külvata uus mets ning sellest hooldamisega kujundada järgmine küps mets, mida raiuda (RMK, Miljon miksi...2023).

Uuendusraiet tehakse selleks, et võimaldada metsa uuendamist või uuenemist. Uuendusraiate hulka kuuluvad lageraie ja turberaie. Selleks, et kumbagi neist raietest metsas teostada, peab puistu olema saavutanud kas vastava raievanuse või on saavutanud uuendusraiet lubava keskmise rinnasdiameetri (Metsaseadus, 2022). Kui lageraie korral jääb vana ja uue metsa vahele lage kännustik, siis turberaie korral jääb see nägemata. Lisaks sellele toimub pärast turberaie looduslik uuenemine ja selliselt uuenev metsapõlv on geneetiliselt kasvukohale vastav ning looduslik valik tagab kõige sobivamate genotüüpide säilimise (Palo, 2020). Turberaie jaguneb omakorda aegjärkseks, häil- ja veerraieks (Metsaseadus, 2022).

Lageraie järel muutuvad tugevalt metsa valgustatus, mullaniiskus ja -toitelisus, millega kaasnevad suured muutused alustaimestik (Liira, 2017). Kirjanduse andmetel mõjutavad turberaied (eriti aegjärkne raie) alustaimestikku vähem kui lageraie. Varasemad uurimused on näidanud, et mõni aasta pärast turberaie esimest järku suureneb soontaimede ja sammalde liigirikkus pioneerliikide lisandumise tõttu (Tullus *et al.*, 2019; Kalle, 2020). Samas on olemas vaid üksikuid uurimusi, milles analüüsitakse aegjärkse raie järel toimuvaid taimestiku muutusi pikema aja jooksul.

Bakalaureusetöös uuritakse aegjärkse raie mõju männikute alustaimestikule pärast esimest ja teist raiejärku seitsmel erineval katsealal, lähtudes ca 10-aastase perioodi andmetest. Eraldi eesmärgina analüüsitakse ka alustaimestikuni jõudva valguse hulka enne ja peale raiet. Samuti hinnatakse aegjärkse raie mõju metsamarjadele – harilikule mustikale (*Vaccinium myrtillus*) ja harilikule pohlale (*Vaccinium vitis-idaea*). Lisaks võrreldakse alustaimestik (toimunud muutusi katsealadel, kus aegjärkne raie on pooleli, katsealadega, kus aegjärkne raie on lõpetatud).

Töös püstitati hüpotees, et ca 10 aastat pärast aegjärkse raie algust on soontaimede ja samblaliikide arv jätkuvalt suurem, võrreldes raie-eelsete andmetega, kuid osa varjulembesid liike on kooslusest kadunud.

1. ÜLEVAADE TURBERAIETEST

1.1 Turberaied

Turberaied on selline uuendusraieliikide rühm, mille rakendamisel vana ja küps mets raiutakse mitme raiejärguga, et luua sobivad tingimused okaspuude eeluenduse arenemiseks või nende järelkasvu tekkimiseks ja kasvuks hõrenдатud vana metsa turbe all või selle vahetus naabruses. Turberaiet kasutatakse juhtudel, kui tahetakse pehmendada lageraie mõju või saada uut metsa looduslikul teel. Seda eriti metsades, kus juba esineb arvestuslik koguses männi või kuuse eeluendust või on soodsad tingimused selle tekkeks (Laas, 2012). Kui metsas, kus plaanitakse turberaiet, esineb juba arvestuslik järelkasv, siis tuleks raietööd teostada lumekattega ajal, et tagada nende võimalikult suur ellujäävus. Turberaie teostamisel peab raiejärkude vahe olema vähemalt viis aastat ja nende hulka ei loeta raieaastaid (Metsaseadus, 2022). Järgmise raiejärgu võib teha, kui raielangil kasvab peapuuliigi uuenduse vähemalt 0,3 m kõrguseid puid vähemalt 1000 ühe hektari kohta. Viimase raiejärgu võib teha, kui raielangil kasvab peapuuliigi vähemalt 0,5 m kõrguseid puid vähemalt 1500 ühe hektari kohta (Metsa majandamise eeskiri, 2021).

1.2 Turberaie viisid

Turberaie alaliik, kas aegjärgne-, häil- või veerraie valitakse vastavalt puistu kasvukohale, koosseisule ja struktuurile. Õige ala valik, raie- ja seemneaasta ajastamine ning korralik maapinna ettevalmistamine on kolm eeldust soovitud uuenduse tekkeks turberaiel (Laas *et al.* 2011)

1.2.1 Häilraie

Häilraie korral raiutakse vana ja küps mets esimeses järgus suurgruppide kaupa, tekitades sellega metsa häilud, mida järgmiste raiejärkudega laiendatakse. Põhiline eesmärk on saada

männi uuendust ning seda kasvatada vana metsa sisse tehtud hea valgustuse ning keskosas juurkonkurentsita häiludes (Laas, 2012). Häilraiet sobib hästi kasutada madalaboniteedilistes männikutes. Samuti peaks häilraiet kasutama metsades, kus on grupiline eeluendus olemas. Raiega eemaldatakse uuenduse kohalt vanu puud ning sellega parandatakse noorte puude valgus- ja juurtoitumistingimusi (Laas *et al.* 2011). Häilraie korral võib sisse raiuda kuni viis häilu ühe hektari kohta. Esimesel raiejärgul võib häilu läbimõõt olla maksimaalselt 40 m, teisel raiejärgul võib seda suurendada kuni 30 m ning kolmanda raiejärguga võib häiludevahelisel alal raiuda kõik puud. Pärast esimest raiejärku ei tohi sisseraiutavate häilude pindala olla suurem kui 25% puistu pindalast (Metsa majandamise eeskiri, 2021)

1.2.2 Aegjarkne raie

Aegjarkse raie korral raiutakse uuendamisele kuuluv küps puistu ülepinnaliselt ja ühtlaselt ülarinnet harvendades 2 või 3 raiejärguga 10-15 aasta jooksul (Laas *et al.* 2011). Esimese raiejärguga raiutakse viletsad esimese rinde puud ning teine rinne. Alles jäävate puude omadused on sirge, haigusvaba ja sihvakas tüvi ning mõõdukalt pikk võra. Alles jäävad puud on seemnepuudeks uue metsapõlve loomisel (Palo, 2020). Klassikaline aegjarkne raie on kolmejärguline, jagunedes seemendus-, valgustus- ja koristusraiejärguks. Seemendusraiejärgus harvendatakse puistut seemnekandvuse suurendamiseks ja selle parandamiseks valitud puude näol. Valgustusraiejärgus raiutakse allesjäänud puistu veel hõredamaks, tekkinud järelkasvule paremate valgustingimuste tagamiseks ning koristusraiejärgus raiutakse allesjäänud puud ümbritseva järelkasvu hulgast (Laas *et al.* 2011). Selleks, et säilitada järelkasv ning vähendada selle kahjustamist ja hukkumist tuleb valgustus-, aga eriti koristusraiejärk teha lumikattega ajal (Laas, 2012). Aegjarkset raiet sobib rakendada parasniiskete või kuivapoolse mullaga II-IV boniteedi männikutes või männi-kuuse segapuistutes, sest viljakama mullaga aladel tekib rohkesti kõrrelisi ja uuendust tekib vähe (Laas *et al.* 2011). Aegjarkse raie korral ei tohi pärast esimest raiejärku viia puistu täiust madalamale kui 30% (Metsa majandamise eeskiri, 2021).

1.2.3 Veerraie

Veerraie on vana metsa servast lageraieana raiutav kitsas riba, mis uueneb vanast metsast raielangile lenduvate seemnetega. Kui raiutud riba on nõuetekohaselt uuenenud, siis raiutakse uus kitsas riba. Raiet tuleb alustada tuulealusest servast (Laas *et al.* 2011). Veerraie sobib nii männi kui kuuse uuendamiseks (Laas, 2012). Kuna vana metsa juurkonkurentsi ja varjamise tõttu tekib seemikuid servametsa lähedal vähe, siis ei saa veerraielank olla väga kitsas. (Laas *et al.* 2011). Veerraiel on lubatud raiuda lageraie korras langi servast kuni metsa keskmise kõrguse laiune riba ning lagedaks raiutud riba kõrval on lubatud raiuda üksikpuid või häile puistu kõrguse laiuselt nii, et puistu täius ei langeks alla 50% (Metsa majandamise eeskiri, 2021). Kõige paremini sobib veerraie III-IV boniteedi männikute uuendamiseks, kuid see võiks olla meil ka ainsaks raieliigiks kuusepuistute looduslikul uuendamisel, seda juhul kui vana metsa koosseisus on viljuvaid kuuski (Laas *et al.* 2011).

1.3 Raiete mõju taimestikule

Mitmed boreaalsetes metsades laialt levinud soon- ja sammaltaimeliigid on lageraie suhtes tundlikud ja nende taasteke pärast raiet on aeglane (Tullus *et al.* 2019). Boreaalsed metsaökosüsteemid on küll kohanenud metsas toimuvate perioodiliste häiringutega, kuid laialt levinud mureks on see, et tavapärane metsa majandamine mõjub alustaimestikule halvasti (Haeussler *et al.* 2002). Lageraie põhjustab suurel pinnal nii mullaniiskuse, valgustatuse kui ka mullatoitelisuse muutusi. Esimestel aastatel peale raiet leidub raielangil vana metsaga seonduvaid taimi, kuid üsna pea peavad nad hakkama konkureerima saabuvate avamaataimedega, kelle kasv on kiirem ja agressiivsem (Liira, 2017). Heaks alternatiiviks lageraiele alustaimestiku paremaks säilitamiseks on turberaied (Hannerz ja Hånell, 1997; Tullus *et al.* 2019; Beese *et al.* 2022).

Haeussler *et al.* (2002) uuringus tuuakse välja, et alustaimestiku liigirikkus oli 5-8 aastat pärast lageraie 30-35% kõrgem kui vanas metsas, kuid maapinna mineraliseerimine pärast raiet soodustab soovimatute liikide teket. Hannerz ja Hånell (1997) uuringus võrreldi turbaaladel kasvavate kuusikute lageraie ja turberaie mõjude erinevust taimestikule ning selgus, et turberaied aitavad säilitada liike, mis eelistavad varjulisi ja niiskeid elutingimusi,

lageraie korral need aga kaovad või vähenevad. Kuna taimeistik taastub pärast turberaiet kiiremini kui peale lageraiet, siis on sellel positiivne mõju elurikkusele (Bartels *et al.* 2018). Marozas *et al.* (2021) Leedu männikutes läbiviidud uuringutest selgus, et pärast aegjärkset raiet suurenes rohttaimede rohkus kõigil uuritud aladel, samas aga sammalde ja samblike arvukus vähenes. Esimesel aastal peale raiet vähenes kanarbikuliste arvukus ning kasvas roosõieliste ja kõrreliste arvukus (Marozas *et al.* 2021).

Beese *et al.* (2022) Vancouveri saarel läbi viidud pika-ajalises metsakasvatussüsteemidest tulenevate bioloogiliste mõjude uuringus iseloomustati muutusi taimeistikus eri raieliikide rakendamisel (võrdluses olid lageraie, häilraie, hajali säilikpuudega raie ja aegjärkne raie). Selgus, et vahetult pärast raiet vähenes alustaimestiku katvus kõikide raieliikide korral. Taastumine sõltus uuritavast liigist, liigirühmast ja raieviisist. Rohurinde katvus, mis oli enne raiet madal, suurenes kiiresti kolmandast kuni kümnenda aastani peale raiet pioneerliikide lisandumise tõttu; muutus oli vähem märgatav aegjärkse raie korral. Sammaltaimede katvus vähenes aga kõikjal alla 5%, väljaarvatud aegjärkse raie aladel. Aegjärkse raie rakendamisel ja häilraie raiumata metsaosades säilis enim raie-eelset taimeistikku. Liigirikkus ja liigiline mitmekesisus olid kõikide raieliikide korral suurimad 15. aastal pärast raiet, mil koosluses olid veel esindatud raie-järgselt lisandunud pioneerliigid ja samuti olid hakanud taastuma raie-eelsed liigid. 26. aastaks pärast raiet hakkas üldine liigirikkus vähenema pioneerliikide kadumise tõttu.

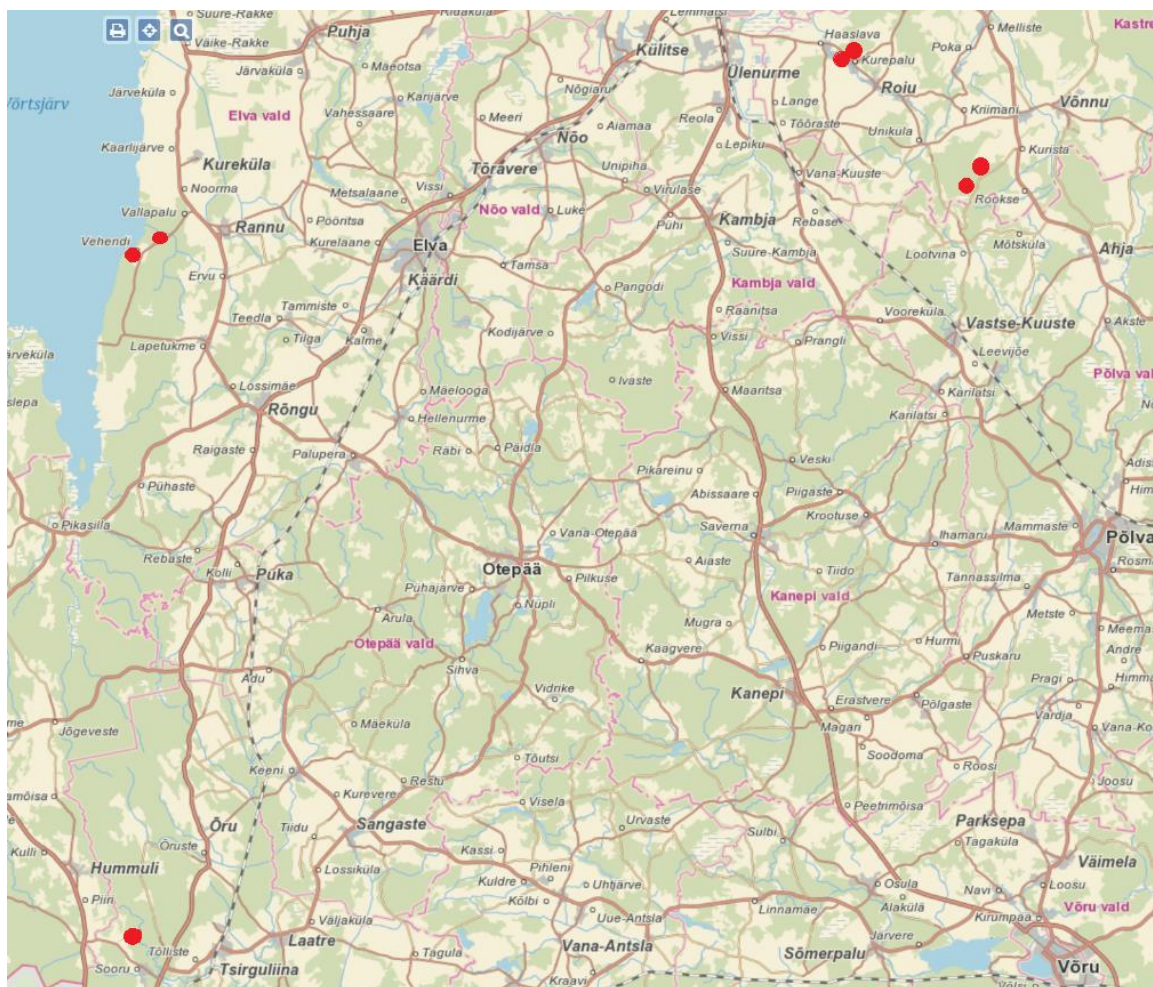
Vanha-Majamaa *et al.* (2017) boreaalsete kuusikute uuringus jõuti järeldusele, et nii soontaimede kui sammaltaimede arvukus väheneb vahetult pärast raiet ja metsa uuendamise võtete kasutamist oluliselt ning soontaimede dünaamika sõltub raie intensiivsusest. Sammaldele parema elukeskkonna loomiseks tuleks võimalusel jätta raidmed metsa, mitte neid metsast välja tuua (Tullus *et al.* 2019). Hilissuktsessioniliste sammaltaimede kaitsmiseks raiesmikel tuleb raie käigus maapinna häiringuid minimeerida (Vanha-Majamaa *et al.* 2017). Ühtlaselt teostatud aegjärkne raie suurendab vähemalt ajutiselt nii soontaimede kui ka sammaltaimede liigirikkust (Tullus *et al.* 2019).

Samas on vähe uurimusi (Beese *et al.* 2022), kus hinnatakse aegjärkse raie mõjusid alustaimestikule mitte ainult vahetult pärast raiet, vaid ka pikemas perspektiivis. Kuna aegjärkse raie mitme raiejärgu käigus häiritakse alustaimestikku korduvalt, on oluline analüüsida taimeistiku dünaamikat kogu metsa uuenemiseks kuluva perioodi jooksul.

2. MATERJAL JA METOODIKA

2.1 Katsealade kirjeldus

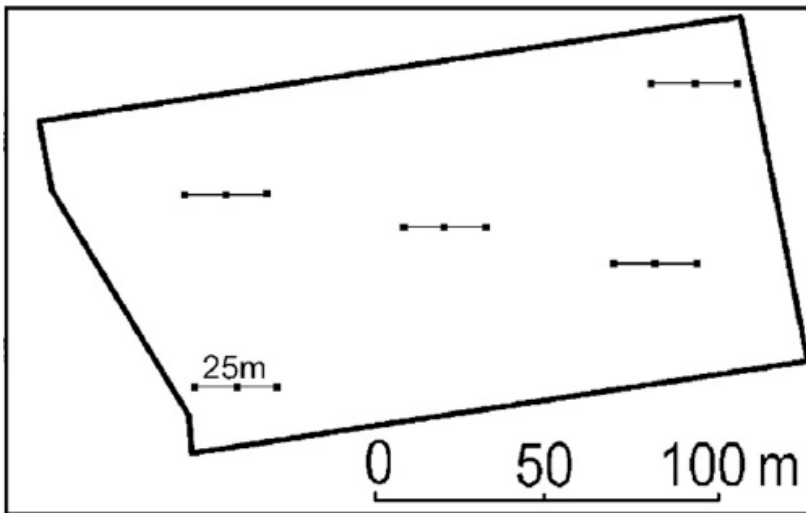
Bakalaureusetöö tarbeks koguti andmed aegjärkse raie järel männikute alustaimestikust toimuvate muutuste analüüsimiseks seitsmelt Valga- ja Tartumaal asuvalt katsealalt (joonis 1). Katsealade kasvukohatüüpideks on jänesekapsa-mustika, pohla ja jänesekapsa-pohla ning pindalad jäävad vahemikku 1,2 - 2,0 ha (Tullus *et al.* 2019). Katsealad paiknevad eraldistel CO036-5, CO031-13, QT103-2, QT111-16, KS243-14, KS245-3 ja VL007-2. Aastatel 2012-2014 viidi nimetatud katsealadel läbi aegjärkse raie esimene raiejärk, seejärel teostati maapinna mineraliseerimine ning männi külv. Katsealadel CO031-13, QT103-2, KS243-14 ja KS245-3 on teostatud ka metsauuenduse hooldamist vahemikus 2015-2020 aastal ning katsealal KS243-14 lisaks ka täiendamine istutusega. Teine ja ühtlasi ka viimane raiejärk viidi läbi KS243-14 ja KS245-3 katsealadel aastal 2019 või 2021. CO036-5 katsealal teostati aastal 2020 teine raiejärk. CO031-13 katsealal on küll teostatud sanitaarraied aastatel 2014, 2016 ja 2019, kuid aegjärkse raie teist raiejärku ei ole seal veel tehtud. Seega jagunevad katsealad neljaks: 1) alad, kus on läbiviidud ainult esimene järk (QT103-2, QT111-16, VL007-2), 2) alad, kus on läbiviidud aegjärkse raie teine järk (CO036-5), 3) lõpetatud aegjärkse raie alad (KS243-14 ja KS245-3) ja 4) sanitaarraiatud, kuid aegjärkne raie lõpetamata (CO031-13).



Joonis 1. Katsealade asukohad Valga- ja Tartumaal (Metsaregister 2023).

2.2 Taimestiku püsiprooviruudud

Igale katsealale on paigutatud 12-15 püsiprooviruutu, mille mõõtmeks on 1 x 1 meetrit. Ruudud paiknevad 25-meetristel ida-lääne-suunalistel transektidel kolme kaupa. Igale katsealale on paigutatud 4-5 transekti ning iga transekti keskmisele ruudule on määratud vastavad koordinaadid (joonis 2). Taimeruutude kirjeldamist alustati aastatel 2012-2013 enne esimest raiejärku. Teine kirjeldus tehti raiejärgselt esimesel suvel, kolmas kirjeldus 3-4 aastat pärast esimest raiejärku 2016. aastal ning viimane kirjeldus 9-10 aastat pärast esimest raiejärku 2022. aastal (v.a katsealal VL007-2, kus viimane kirjeldus tehti 7 aastat pärast esimest järku, 2020).



Joonis 2. Ülevaade transektide paiknemise põhimõttest katsealadel (Tullus *et al.* 2019).

2.3 Välitööd

Katsealadel teostati välitööd 2022. aasta suvel juulikuus. Töö teostamiseks olid kaasas 1 ruutmeetri suurune puidust raam ning fotoaparaat. Puidust raami kasutati katsealal maasse märgitud tokkide ümber asetamiseks (joonis 3). Töö käigus märgiti üles ruudu sisse jäänud soon- ja sammaltaimede üldkatvused 1-100% skaalal ning hinnati ka iga liigi katvus eraldi. Juhul kui liigi katvus jäi alla 1%, siis hinnati katvuseks 0,5%. Sammaltaimedest, mis jäid looduses esmasel hindamisel määramatuks, koguti proovid, mis määrati hiljem mikroskoobi abil. Valgustingimuste hindamiseks tehti iga taimeruudu keskel alustaimestiku kõrguselt põhja-lõuna-suunaliselt poolsfäärifotod, kasutades kalasilmaläätse (joonis 4). Soontaimede nomenklatuur järgib “Eesti taimede määrajat” (Leht, 2010) ja sammalde nomenklatuur “Eesti sammalde määrajat” (Ingerpuu, Vellak, 1998).



Joonis 3. Puidust raam püsiprooviruudul suurusega 1x1 meetrit.



Joonis 4. Poolsfäärifotode tegemine valgustingimuste hindamiseks.

2.4 Andmeanalüüs

Bakalaureusetöös võrreldi püsiprooviruutudelt nelja vaatluse jooksul kogutud taimestiku karakteristikuid: 1)raie-eelsed andmed, 2)esimese suve andmed pärast aegjärkset raiet, 3)3-4 aastal pärast esimest raiejärku kogutud andmed ja 4)9-10 aastal pärast esimest järku kogutud andmed. Katseala VL007-2 (kus viimane kirjeldus tehti 7 aastat pärast esimest järku) andmeid analüüsiti koos ülejäänud katsealade andmetega, mis olid kogutud 9-10 aastat pärast raiet. Esimese kolme kirjelduse andmed pärinevad juhendajalt ja on varem avaldatud (Tullus *et al.*, 2019). Bakalaureusetöös esitatud andmed on osaliselt ära toodud KIKi projekti nr 17441 „Turberaie, valikraie ja püsimetsanduse näidiskatsealade võrgustik ning juhend“ aruandes (Tullus *et al.*, 2022).

Lisaks võrreldi taimestiku muutusi katsealadel, kus aegjärkne raie oli lõpetatud (KS243-14 ja KS245-3) aladega, kus tehtud oli esimene raiejärk ja raie-algusest oli möödas 9-10 aastat (QT103-2 ja QT111-16). Poolsfäärifotodel on ülevaade eelmise metsapõlve puude viimase inventeerimisejärgsest täiusest (joonised 5-8). Katsealal KS245-3 on rohkete säilikpuudega lõpetatud turberaie (joonis 6).



Joonis 5. Poolsfäärifoto KS243-14 katsealal. **Joonis 6.** Poolsfäärifoto KS245-3 katsealal.



Joonis 7. Poolsfäärifoto QT103-2 katsealal **Joonis 8.** Poolsfäärifoto QT111-16 katsealal.

Välitööde käigus kogutud andmed sisestati statistilise analüüsi tarbeks statistikaprogrammi Excel. Statistiline analüüs tehti ka paketi „lme4“ abil vabavara R keskkonnas, kus koostati segamudel, millega hinnati taimestiku näitajate muutust sõltuvalt inventeerimisajast, kus katseala ja püsiprooviruut olid juhuslikud faktorid. Mudelite jääkide jaotust kontrolliti histogrammide abil ja nende põhjal otsustati rohurinde üldkatvus, samblaliikide arv, mustika ja pohla katvused logaritmid. Inventeerimisaegade vahelisi erinevusi võrreldi Sidaki testiga. Joonistel on logaritmitud näitajad tagasiteisendatud. Lisaks võrreldi taimestikku lõpetatud ja lõpetamata raiealadel enne raie ja 9-10 aastat pärast raie. Inventeerimisaja ja raiestaadiumi mõju ning nende kahe koosmõju taimestiku näitajatele hinnati segamudeliga, kus püsiprooviruut oli juhuslik faktor. Mudeli jääkide jaotust kontrolliti histogrammi abil ja samblaliikide arv prooviruudul logaritmiti. Kui koosmõju oli oluline, võrreldi raiestaadiumite vahelisi erinevusi inventeerimisaastate kaupa Sidaki testiga. Poolsfäärifotod analüüsiti tarkvaraga Gap Light Analyser 2.0.

Pooleli ja lõpetatud alade puhma-rohu ja samblarinde andmed ordineeriti mitteparameetriliste multidimensionaalse skaleerimisega (NMDS, pakett „vegan“). Ainult 1 kord esinenud liigid jäeti ordineerimisel välja. Samade andmete põhjal leiti indikaatorliigid paketiga „indicspecies“.

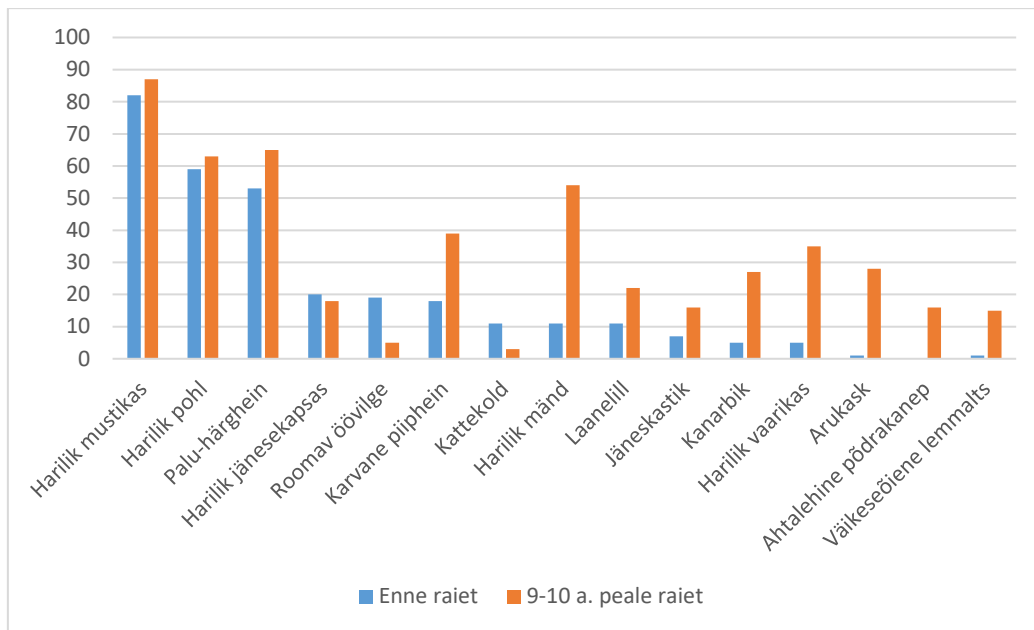
Tunnuste vaheliste seoste statistilise olulisuse hindamiseks kasutati usaldusnivood $\alpha = 0,05$ (Kiviste 2007). Kõikidest oluliseks (p-väärtus $<0,05$) osutunud seostest tehti R-is joonised.

3. TULEMUSED JA ARUTELU

3.1 Alustaimestiku liigirikkus

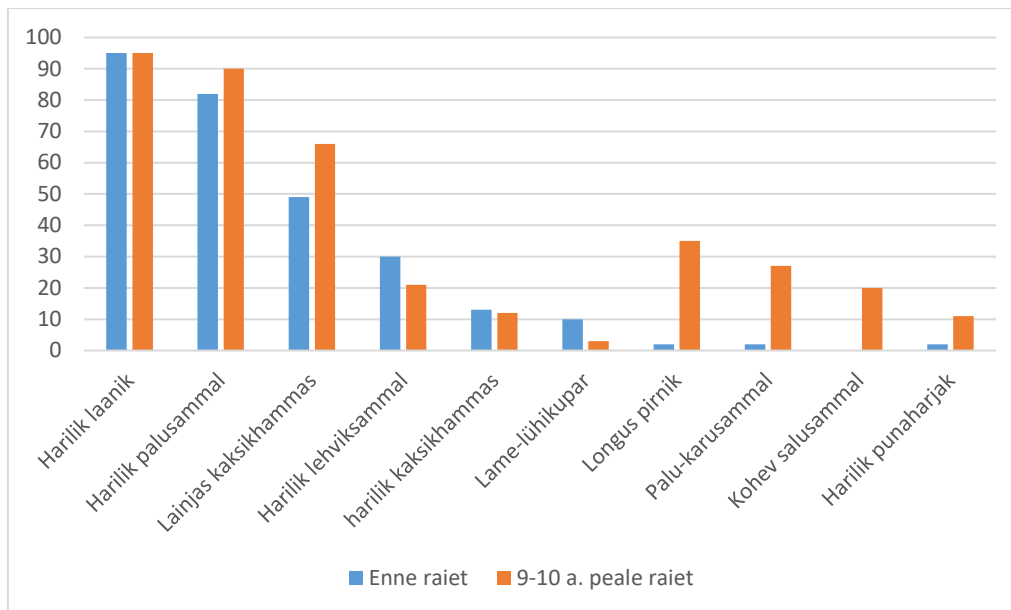
Kõikidelt püsiprooviruutudelt on välitööde käigus nelja kirjelduse jooksul kokku leitud 71 soontaimeliiki (neist 57 puhma-rohurinde liiki ja 14 põõsarinde või uuenduse liiki) ja 49 samblaliiki. Enne aegjärgse raie esimest raiejärku (2012-2013) esines püsiprooviruutudel kokku 35 soontaimeliiki ja 31 samblaliiki. Esimesel suvel pärast aegjärkset raiet leiti 44 soontaimeliiki ja 24 samblaliiki ja 3-4. aastal pärast raiet 58 soontaimeliiki ja 43 samblaliiki. Viimaste välitööde käigus (9-10 aastat pärast esimest raiejärku) hangitud andmetest selgus, et soontaimeliikide arv oli 57 ning samblaliikide arv 35 .

Kõige sagedamini esinenud soontaimeliik enne raiet ja 9-10 aastat pärast esimest raiejärku oli harilik mustikas (*Vaccinium myrtillus*). Enne raiet esines mustikat 82 püsiprooviruudul 96-st ning 9-10 aastat pärast esimest raiejärku 87 prooviruudul (joonis 9). Teised levinumad liigid enne raiet olid harilik pohl (*Vaccinium vitis-idaea*; 59 ruudul), palu-härghein (*Melampyrum pratense*; 53 ruudul), harilik jänesekapsas (*Oxalis acetosella*; 20 ruudul), roomav öövilge (*Goodyera repens*; 19 ruudul), karvane piiphein (*Luzula pilosa*; 18 ruudul), kattekold (*Lycopodium annotinum*; 11 ruudul), harilik mänd (*Pinus sylvestris*; 11 ruudul) ja laanelill (*Trientalis europea*; 11 ruudul). Teised enamlevinud liigid 9-10 aastat peale esimest raiejärku olid palu-härghein (65 ruudul), harilik pohl (63 ruudul), harilik mänd (54 ruudul), karvane piiphein (39 ruudul), harilik vaarikas (35 ruudul), arukask (28 ruudul), kanarbik (27 ruudul), laanelill (22 ruudul), harilik jänesekapsas (18 ruudul), jäneskastik (16 ruudul), ahtalehine põdrakanep (*Epilobium angustifolium*; 16 ruudul) ja väikeseõiene lemmalts (*Impatiens parviflora*; 15 ruudul).



Joonis 9. Soontaimede esinemissagedus enne ja peale raiet.

Samblaliikidest esines kõige sagedamini nii enne raiet kui ka 9-10 aastat pärast esimest raiejärku harilik laanik (*Hylocomium splendens*). Laanikut esines nii enne raiet, kui ka 9-10 aastat pärast raiet 95 püsiprooviruudul (joonis 10). Teised enamlevinud samblad enne raiet olid harilik palusammal (*Pleurozium schreberi*; 82 ruudul), lainjas kaksikhammas (*Dicranum polysetum*; 49 ruudul), harilik lehviksammal (*Ptilium crista-castrensis*; 30 ruudul), harilik kaksikhammas (*Dicranum scoparium*; 13 ruudul) ja lame-lühikupar (*Brachythecium oedipodium*; 10 ruudul). Teised levinumad sammaltaimed 9-10 aastat peale esimest raiejärku olid harilik palusammal (90 ruudul), lainjas kaksikhammas (66 ruudul), longus pirnrik (*Pohlia nutans*; 35 ruudul), palu-karusammal (*Polytrichum juniperinum*; 27 ruudul), harilik lehviksammal (21 ruudul), kohev salusammal (*Eurhynchium praelongum*; 20 ruudul), harilik kaksikhammas (12 ruudul) ja harilik punaharjak (*Ceratodon purpureus*; 11 ruudul).



Joonis 10. Sammaltaimede esinemissagedus enne ja peale raiet.

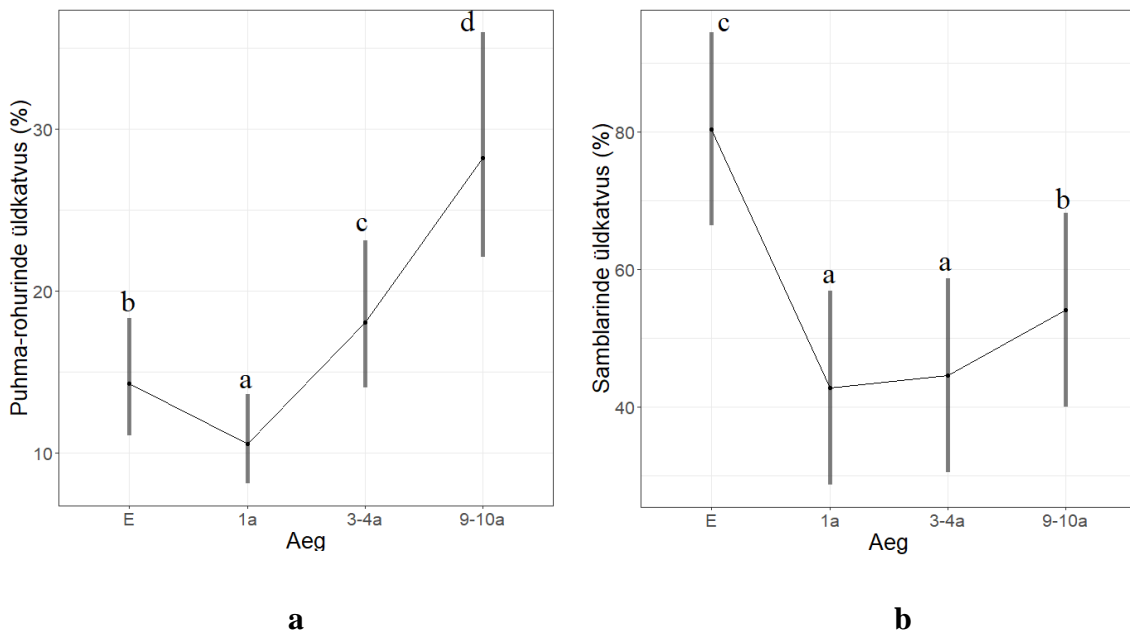
Enne raiet leidis soontaimedest sõrmtarna (*Carex digitata*) ja harilikku võilille (*Taraxacum officinale*), kuid 9-10 aastat peale raiet neid enam ei esinenud. Sammaltaimedest olid kadunud samet-lühikupar (*Brachythecium velutinum*), tüvetutik (*Orthotrichum speciosum*), korbasõõrik (*Radula complanata*), roomav soomik (*Lepidozia reptans*) ja kännukatik (*Nowellia curvifolia*). Kaks viimast kadunud sammaltaimet olid vääriselupaiga indikaatorliigid. Samas olid 9-10 aastat peale raiet lisandunud püsiprooviruutudele soontaimedest ahtalehine põdrakanep, mitmeõiene piiphein (*Luzula multiflora*), harilik haab (*Populus tremula*), harilik võsalill (*Moehringia trinervia*), harilik tarn (*Carex nigra*), harilik maikelluke (*Convallaria majalis*), pügaldunud kõrvik (*Galeopsis bifida*), väike oblikas (*Rumex acetosella*), harilik vaher (*Acer platanoides*), harilik naat (*Aegopodium podagraria*), tume aroonia (*Aronia melanocarpa*), hallikas tarn (*Carex canescens*), jänestarn (*Carex leporina*), kahkjastarn (*Carex pallescens*), harilik kerahein (*Dactylis glomerata*), harilik paakspuu (*Frangula alnus*), keraluga (*Juncus conglomeratus*), harilik toomingas (*Padus avium*), hapu oblikas (*Rumex acetosa*), raagremmelgas (*Salix caprea*), punane leeder (*Sambucus racemosa*), harilik kuldvits (*Solidago virgaurea*), salu-tähthein (*Stellaria nemorum*) ja sinikas (*Vaccinium uliginosum*). Sammaltaimedest olid juurde tekkinud harilik kadrisammal (*Atrichum undulatum*), punakas lühikupar (*Brachythecium erythrorrhizon*), harilik lühikupar (*Brachythecium rutabulum*), muru-pungsammal (*Bryum caespiticium*), kalliklaadium (*Callicladium haldanianum*), kohev ebaulmik (*Herzogiella seligeri*), kohev

salusammal, mets-lehiksammal (*Plagiomnium cuspidatum*) ja nõtke-palusammal (*Polytrichum longisetum*).

Katsealadel leidis ka üks looduskaitsealune liik – roomav öövilge (*Goodyera repens*). Enne raiet esines seda viiel katsealal (CO031, CO036, KS243-14, KS245-3, QT111) ja kokku 19 püsiprooviruudul. 9-10 aastat peale esimest raiejärku leidis kaitsealust liiki kolmel katsealal (CO031, KS245-3, QT103) ning kokku ainult 5 prooviruudul.

3.2 Puhma-rohurinde ja samblarinde katvus

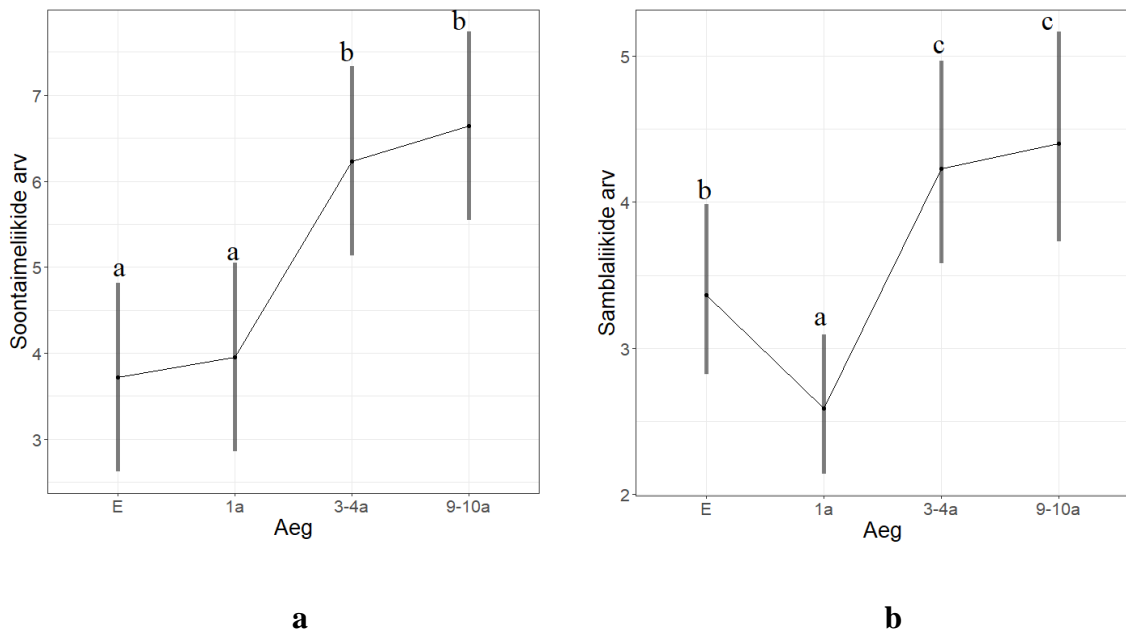
Puhma-rohurinde ja samblarinde keskmisele katvusele prooviruutudel avaldas mõju inventeerimisaeg. Dispersioonanalüüs näitas, et inventeerimisaastate vaheline erinevus oli usaldusväärne ning p-väärtus oli nii puhma-rohurinde kui ka samblarinde korral $<0,05$. Enne raiet oli puhma-rohurinde keskmine üldkatvus 14,3% (joonis 11a). 1 aasta peale raiet keskmine katvus langes oluliselt (10,5%-ni) ning 3-4 aastat peale raiet tõusis 18%-ni. 9-10 aastat peale raiet oli puhma-rohurinde üldkatvus tõusnud 28,2%-ni (joonis 11). Samblarinde üldkatvus enne raiet oli 80,4% (joonis 11b). Raie-järgselt vähenes katvus märgatavalt (42,8%) ning jäi samale tasemele ka 3-4 aastat peale raiet (44,6%). Alles 9-10 aastat peale raiet oli samblarinde üldkatvus oluliselt suurenenud (54,1%), jäädes raie-eelsest siiski märkimisväärselt väiksemaks.



Joonis 11. Puhma-rohurinde (a) ja samblarinde üldkatvuse (b) varieeruvus (keskmine ja 95 % usaldusvahemik) sõltuvalt inventeerimisajast (E – enne raiet, 1a – esimene raie-järgne suvi, 3-4a – 3.-4. aasta pärast aegjärkse raie esimest järku, 9-10a – 9.-10. aasta pärast aegjärkse raie esimest järku). Väiketähed näitavad Sidaki testi tulemust.

3.3 Soontaimede ja sammaltaimede liigirikkus prooviruutudel

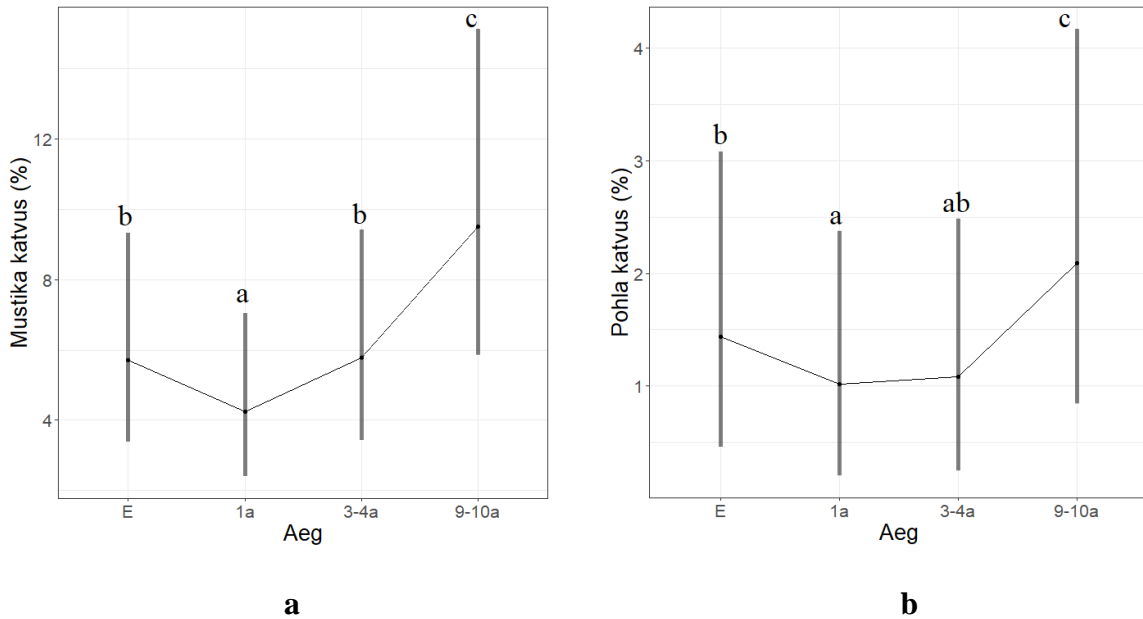
Soontaimede ja sammaltaimede liigirikkus prooviruutudel sõltus inventeerimisajast (p -väärtused $<0,05$). Enne raiet esines keskmiselt 3,7 soontaimeliiki prooviruudul (joonis 12a). 1 aasta peale raiet jäi liigirikkus samale tasemele ning 3-4 aastat peale raiet oli liikide arv tõusnud 6,2 soontaimeliigini ruudu kohta. Samale tasemele jäi see ka 9-10 aastat peale raiet. Samblaliike esines enne raiet keskmiselt 3,4 ruudu kohta (joonis 12b). 1 aasta peale raiet liikide arv langes 2,6 liigini ning 3-4 aastat peale raiet tõusis 4,2 liigini ruudu kohta ja jäi samale tasemele ka 9-10 aastat peale raiet.



Joonis 12. Soontaimede (a) ja sammaltaimede (b) liikide arv (keskmine ja 95 % usaldusvahemik) sõltuvalt inventeerimisajast (E – enne raiet, 1a – esimene raie-järgne suvi, 3-4a – 3.-4. aasta pärast aegjarkse raie esimest järku, 9-10a – 9.-10. aasta pärast aegjarkse raie esimest järku). Väiketähed näitavad Sidaki testi tulemust.

3.4 Hariliku mustika ja hariliku pohla katvus

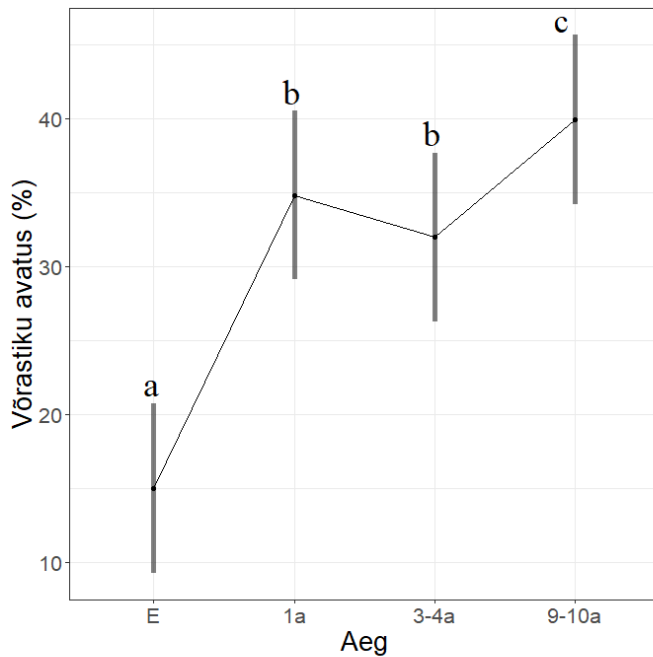
Hariliku mustika ja hariliku pohla katvus prooviruutudel sõltus inventeerimisajast (p -väärtused olid nii mustika kui pohla puhul $<0,05$). Enne raiet oli mustika keskmine katvus prooviruudul 5,7%. 1 aasta peale raiet katvus langes (4,2%) ning 3-4 aastat peale raiet tõusis tagasi samale tasemele, mis oli enne raiet (5,7%). 9-10 aastat peale raiet oli mustika katvus tõusnud veelgi ning liik kattis keskmiselt 9,5% prooviruudust (joonis 13a). Hariliku pohla keskmine katvus enne raiet oli 1,4%. 1 aasta peale raiet oli katvus oluliselt langenud (1%) ning 3-4 aastat peale raiet jäi samale tasemele (1%). 9-10 aastat peale raiet oli pohla katvus tõusnud 2%-ni, mis ületas usaldusväärselt raie-eelset katvust (joonis 13b).



Joonis 13. Mustika (a) ja pohla (b) katvus (keskmine ja 95 % usaldusvahemik) sõltuvalt inventeerimisajast (E – enne raiet, 1a – esimene raie-järgne suvi, 3-4a – 3.-4. aasta pärast aegjärkse raie esimest järku, 9-10a – 9.-10. aasta pärast aegjärkse raie esimest järku). Väiketähed näitavad Sidaki testi tulemust.

3.5 Võrastiku avatuse tase

Keskmine võrastiku avatus muutus inventeerimisaja jooksul usaldusväärselt, dispersioonanalüüsi tulemusena oli p-väärtus $<0,05$. Enne raiet oli keskmine võrastiku avatuse tase 15% (joonis 14). 1 aasta peale raiet suurenes avatus märgatavalt ning oli keskmiselt 34,8%. Samale tasemele jäi see ka 3-4 aastat peale raiet (32%). 9-10 aastat peale raiet oli võrastiku avatus usaldusväärselt suurenenud (40%). See muutus tulenes osadel katsealadel läbiviidud raie teisest järgust.



Joonis 14. Võrastiku avatuse (keskmine ja 95 % usaldusvahemik) taseme erinevus sõltuvalt inventeerimisajast. (E – enne raiet, 1a – esimene raie-järgne suvi, 3-4a – 3.-4. aasta pärast aegjarkse raie esimest järku, 9-10a – 9.-10. aasta pärast aegjarkse raie esimest järku). Väiketähed näitavad Sidaki testi tulemust.

3.6 Alustaimestiku muutused lõpetamata ja lõpetatud aegjarkse raie katsealadel

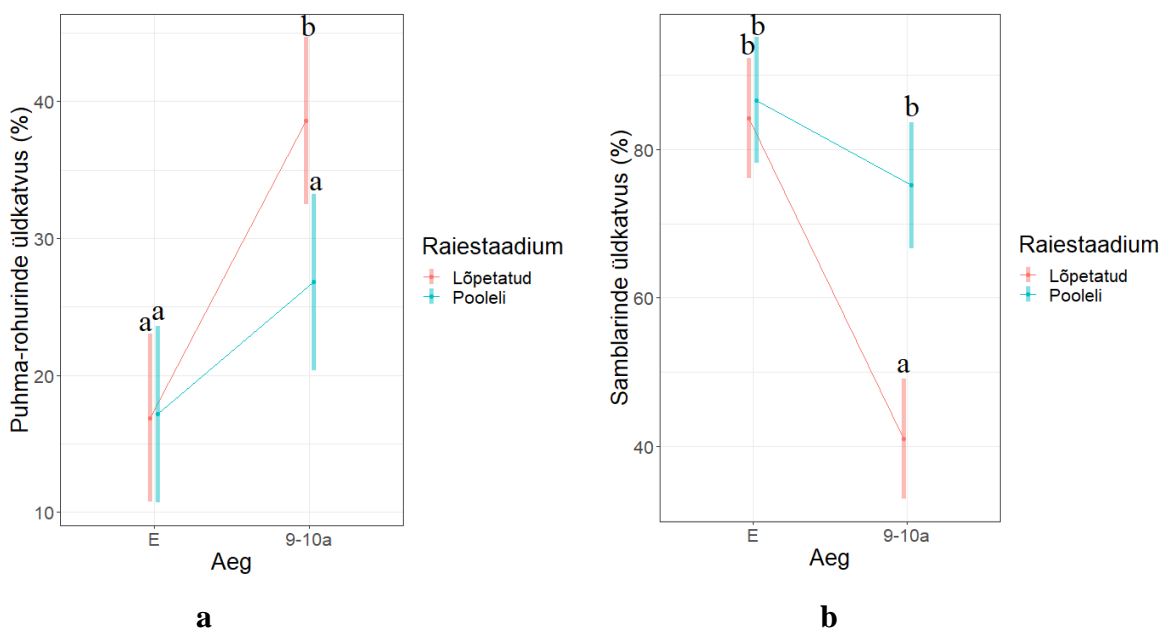
3.6.1 Puhma-rohu- ja samblarinde üldkatvus

Lõpetatud (KS243-14 ja KS245-3) ja lõpetamata (QT103-2 ja QT111-16) aegjarkse raie alade võrdlusest selgus, et puhma-rohurinde üldkatvus erines usaldusväärselt inventeerimisaja ning inventeerimisaja ja raiestaadiumi koosmõju osas (tabel 1). Enne raiet oli puhma-rohurinde keskmine üldkatvus lõpetatud raiealadel 16,9% ja pooleli olevatel raiealadel 17,2%. Sarnasele tasemele jäi see ka 9-10 aastat pärast esimest raiejärku pooleli olevatel aladel (26,8%), kuid oli tõusnud lõpetatud raiealadel märkimisväärselt 38,6%-ni (joonis 15a). Samblarinde keskmist üldkatvust mõjutasid oluliselt inventeerimisaeg, raiestaadium ja ka nende koosmõju (tabel 1). Enne raiet oli samblarinde üldkatvus lõpetatud aladel 84,2% ja pooleli olevatel aladel 86,6%. Samale tasemele jäi üldkatvus ka 9-10 aastat

peale raiet pooleli olevatel aladel (75,2%), kuid lõpetatud raiealadel oli märgatavalt langenud 41%-ni (joonis 15b).

Tabel 1. Alustaimestiku karakteristikuid mõjutavate tegurite p-väärtused.

Uuritav näitaja	Inventeerimisaeg	Raiestaadium	Inventeerimisaja ja raiestaadiumi koosmõju
			p-väärtus
Rohurinde üldkatvus (%)	<0,01	0,09	0,05
Samblarinde üldkatvus (%)	<0,01	<0,01	<0,01
Soontaimeliikide arv	<0,01	<0,01	<0,01
Samblaliikide arv	<0,01	0,41	0,81
Hariliku mustika katvus (%)	<0,01	0,35	0,78
Hariliku pohla katvus (%)	0,02	0,14	0,70

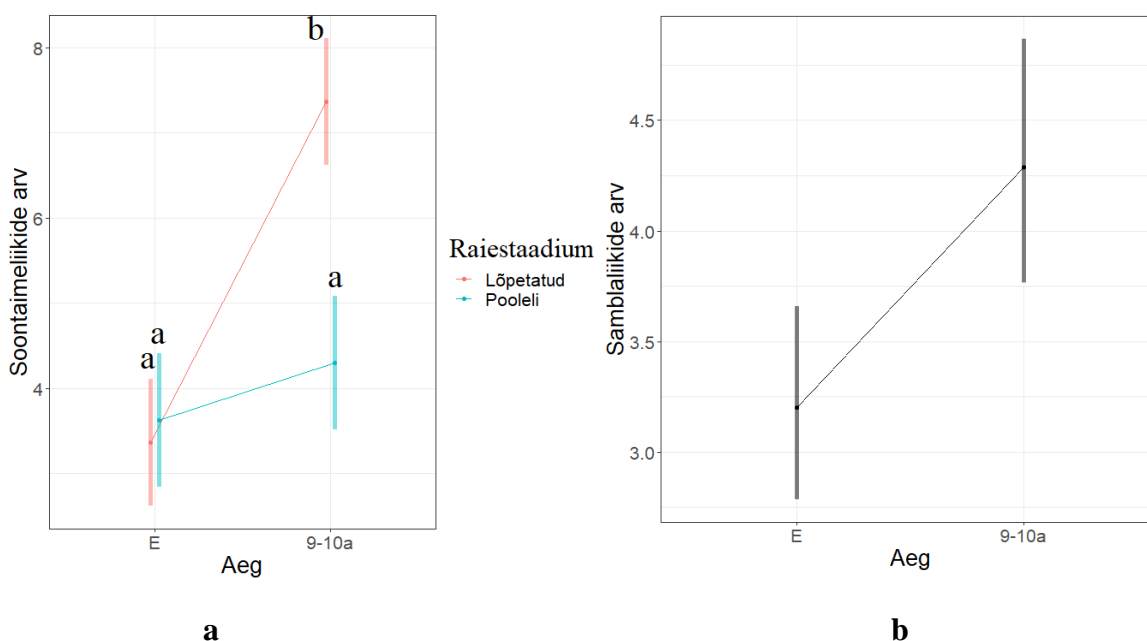


Joonis 15. Puhma-rohurinde (a) ja samblarinde üldkatvuse (b) varieeruvus (keskmine ja 95 % usaldusvahemik) sõltuvalt inventeerimisajast (E – enne raiet, 9-10a – 9.-10. aasta pärast aegjärkse raie esimest järku) ja raiestaadiumist (lõpetatud ja pooleli olevad aegjärkse raie alad). Väiketähed näitavad Sidaki testi tulemust.

3.6.2 Liigirikkus

Samas võrdluses soontaimede ja sammaltaimede keskmist liikide arvu analüüsid selgus, et liikide arv erineb usaldusväärselt inventeerimisaja, raiestaadiumi ja ka nende koosmõju osas (tabel 1). Enne raiet tehtud kirjelduse põhjal oli lõpetatud ja pooleli olevatel raiealadel

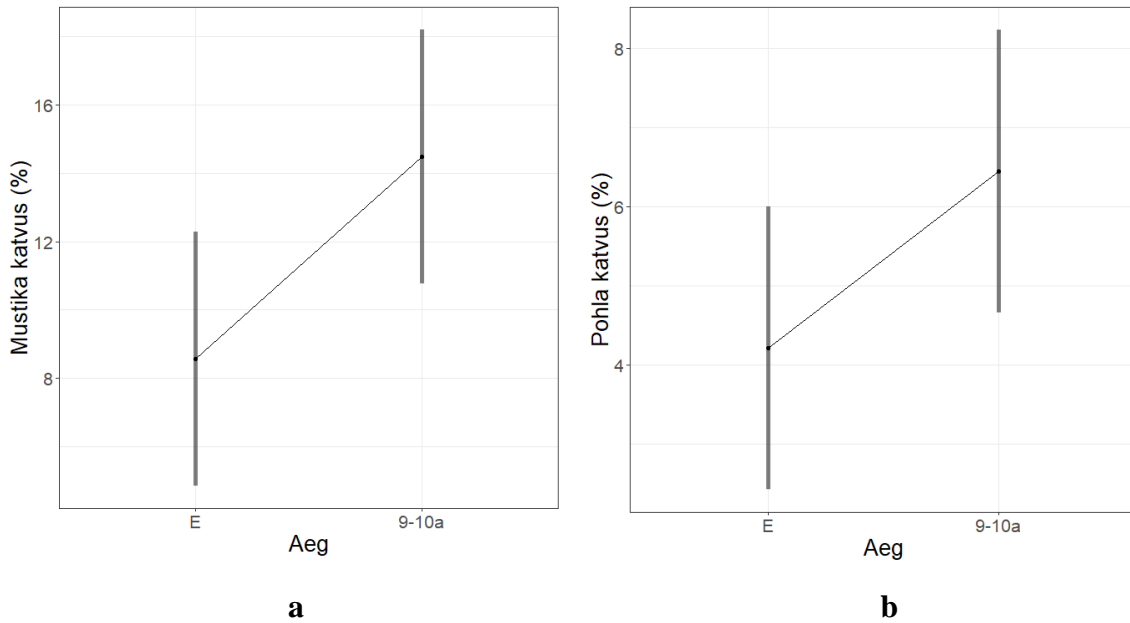
keskmise liikide arv samal tasemel (3,4 ja 3,6). 9-10 aastat peale raiet leidis lõpetatud raiealade prooviruutudel 7,4 soontaimeliiki ja pooleli olevatel aladel 4,3 (joonis 16a). Sammaltaimede keskmine liikide arv erines usaldusväärselt ainult inventeerimisaja suhtes (tabel 1). Enne raiet oli keskmine samblaliikide arv 3,2 ja 9-10 aastat peale raiet oli keskmine liikide arv tõusnud 4,3-ni (joonis 16b).



Joonis 16. Soontaimede (a) ja sammaltaimede (b) liikide arv (keskmise ja 95 % usaldusvahemik) sõltuvalt inventeerimisajast (E – enne raiet, 9-10a – 9-10. aasta pärast aegjärkse raie esimest järku) ja raiestaadiumist (lõpetatud ja pooleli olevad aegjärkse raie alad). Väiketähed näitavad Sidaki testi tulemust.

3.6.3 Metsamarjade katvus

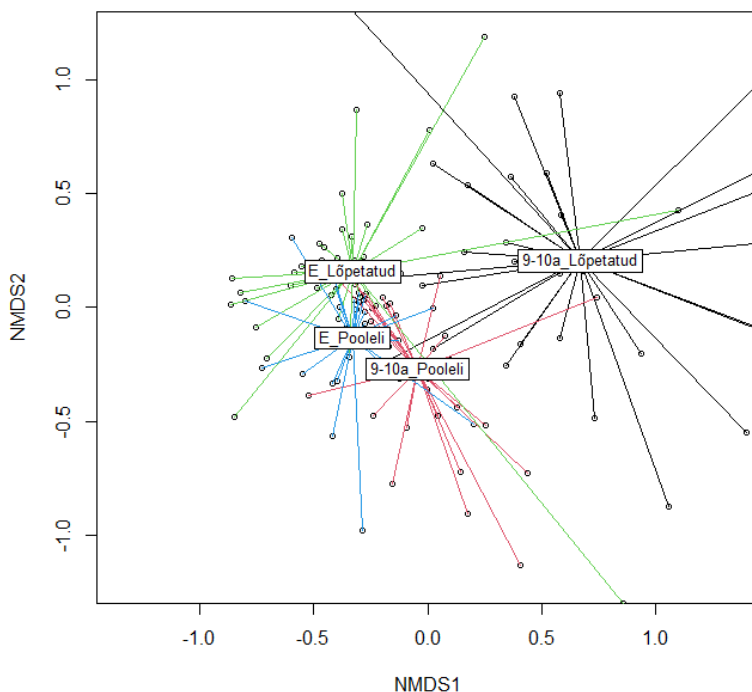
Hariliku mustika ja hariliku pohla keskmine katvus erines usaldusväärselt ainult inventeerimisaja suhtes (tabel 1). Enne raiet oli keskmine mustika katvus 8,6% ning 9-10 aastat peale raiet oli katvus tõusnud 14,5%-ni (joonis 17a). Hariliku pohla katvus enne raiet oli keskmiselt 4,2% ja 9-10 aastat peale raiet oli tõusnud 6,5%-ni (joonis 17b).



Joonis 17. Mustika (a) ja põhla (b) katvus (keskmine ja 95 % usaldusvahemik) sõltuvalt inventeerimisajast (E – enne raiet, 9-10a – 9.-10. aasta pärast aegjärke raie esimest järku).

3.6.4 Liigilise koosseisu muutused

Prooviruutude ordineerimise tulemusest selgus, et alustaimestiku liigilist koosseisu mõjutas raiestaadiumi ja inventeerimisaja kombinatsioon (p -väärtus $<0,01$ ja $r^2 = 0,36$, joonis 18). Raie-eelsete andmete põhjal asusid pooleli ja lõpetatud alade prooviruudud ordinatsiooniruumis võrdlemisi lähestikku ja võib öelda, et enne raiet erines alustaimestiku liigiline koosseis vähesel määral. 9-10 aastat peale raiet jäi pooleli olevatel raiealadel liigiline koosseis üsna sarnaseks enne raiet olevaga. Märkimisväärne muutus oli alustaimestiku liigilises koosseisus toimunud 9-10 aastat peale raiet lõpetatud raiealal (joonis 18).



Joonis 18. Puhma-rohurinde ja samblarinde liikide mitteparameetriselise multidimensionaalse skaleerimise (NMDS) ordinatsiooniskeem. Punktid tähistavad prooviruute, stress 0,20. (E_Pooleli – pooleli olevate aegjärgse raie alade raie-eelne kirjeldus, 9-10a_Pooleli – pooleli olevate alade kirjeldus 9-10. aastal pärast raie algust, E_Lõpetatud - lõpetatud aegjärgse raie alade raie-eelne kirjeldus, 9-10a_Lõpetatud – lõpetatud aegjärgse raie alade kirjeldus 9-10 aastat pärast raie algust.

Indikaatorliikide analüüsis selgusid 17 liiki, mis olid tüüpilised eri raiestaadiumiga katsealadele või nende kombinatsioonidele. Enne raie oli lõpetatud raiealade indikaatorliigiks kaitsealune roomav öövilge (p-väärtus 0,01). Enne raie olid pooleli oleva aegjärgse raiega katsealadel indikaatorliikideks harilik kaksikhammas (0,02) ja kattedkold (0,03). 9-10 aastat peale raie lõpetatud raiealadel olid indikaatorliikideks harilik vaarikas (<0,01), karvane piiphein (<0,01), ahtalehine põdrakanep (<0,01), väikeseõiene lemmalts (<0,01), arukask (<0,01), kohev salusammal (0,01), harilik jänesesalat (0,01) ja keratarn (0,01). 9-10 aastat peale raie pooleli olevatel raiealadel olid indikaatorliikideks palukarusammal (<0,01), longus pirnrik (<0,01) ja harilik punaharjak (<0,01). Pooleli olevatele raiealadele oli nii enne raie kui 9-10 aastat peale raie iseloomulikuks palu-härghein (<0,01).

9-10 aastat pärast raiet oli nii pooleli olevate kui lõpetatud alade taimeruutudel tüüpilisteks liikideks harilik mänd (<0,01) ja kanarbik (<0,01).

3.7 Arutelu

Välitööde käigus püsiprooviruutudel alustaimestiku liigirikkust inventeerides selgus, et soontaimede liikide arv oli madalaim enne raie algust. Esimestel raiejärgsetel aastatel võib tõesti leida raiesmikul palju metsaga seotud liike, mis saavad parema võimaluse kasvada ja paljuneda (Liira, 2017). Nii esimesel aastal peale raiet kui ka 3-4 aastat peale raiet oli soontaimeliikide arv kasvutrendis ning 9-10 aastat peale raiet oli jäänud samale tasemele, vähenedes ainult ühe liigi võrra. Saadud tulemus on kooskõlas Beese *et al.* (2022) uuringuga, kus leiti, et raie-järgne liigirikkus oli suurim 15. suvel, mil alustaimestik esinesid veel pioneerliigid ja lisaks olid taastunud paljud raie tõttu kadunud liigid.

Puhma-rohurinde üldkatvus langes vahetult pärast raiet raie-eelsest madalamale, kuna raie käigus kahjustati olemasolevat taimestikku, mis ei jõudnud esimeseks raie-järgseks suveks veel taastuda. 9-10 aastat peale raiet oli puhma-rohurinde üldkatvus tõusnud kaks korda suuremaks kui enne raiet, kuna kooslusesse oli lisandunud valguslembeseid liike ja ka osade vanametsa liikide (nt mustika ja pohla) katvus oli suurenenud.

Sammaltaimed on tundlikud raietele ning varjataluvatena ei talu, kui eemaldatakse korruga palju puid, mille võrad takistavad liigse valguse jõudmist alustaimestikuni (Bartels *et al.* 2018). Sammaltaimede liikide arv oli prooviruutudel kõige madalam üks aasta peale raiet, kuna läbi viidud raiega kahjustati sammaltaimi ning nendel kulub taastumisele rohkem aega. 3-4 aastat peale raiet oli sammaltaimede liigirikkus märgatavalt tõusnud ning jäi samale tasemele ka 9-10 aastat peale raiet. Samblarinde üldkatvus oli suurim enne raiet ning kõige madalam üks aasta peale raiet, mil katvust vähendas värskelt teostatud raie. Samblarinde katvust vähendasid ka maapinna ettevalmistus ning raiejäätmete aladele jätmine (Tullus *et al.* 2019). Järgmiste inventeerimiste tulemustel samblarinde üldkatvus järk-järgult tõusis, kuid ei jõudnud ka 9-10 aastat peale raiet tasemele, mis oli enne raiet. Seda seetõttu, et osadel aladel oli tehtud teine raiejärk, mis tähendas samblarinde jaoks vähem varjulisust ja korduvaid häiringuid. Samblaliikide raie-järgne säilimine sõltub ka sobivate kasvusubstraatide olemasolust ning substraatide kadumine mõjutab eriti kõdupuidul ja

tüvedel kasvavaid liike (Noualhaguet *et al.* 2023). Käesolevast andmestikust kadusid vaatlusperioodi lõpuks kaks kõdupuidul kasvanud vääriselupaiga indikaatorliiki (roomav soomik ja kännukatik), kuna kasvusubstraat sai raiete käigus kahjustada.

Beese *et al.* (2022) uuringus jõuti järeldusele, et raiega tekitatavast häiringust taastumine sõltub alustaimestiku liikidest ja nõudlikkusest kasvukoha suhtes. Kuivades männikutes, mis on inimeste jaoks eelistatud marjakorjamiskohad, valitsevad lageraie korral mustikale ja pohlale negatiivsed mõjud (Lõhmus ja Remm, 2017). Hariliku mustika ja hariliku pohla katvus jäi samale tasemele nii enne raiet kui 9-10 aastat peale raiet, kuid vahetult peale raiet läks katvus oluliselt alla. Saame järeldada, et mõlemad on raie suhtes tundlikud, kuid aegjärgse raie tingimustes taastuvad hästi. Kuna 9-10 aastat peale raiet oli nende katvus suurim, siis saame väita, et aegjärgse raiega kaasnevad poolvarjulised tingimused, mis sobivad marjametsade majandamiseks. Peale raiet taandusid liigid, mis on varjataluvad ning ei talu raie poolt tekitatud häiringuid, näiteks roomav öövilge ja kattekold. Enne raiet leidis roomavat öövilget viiel katsealal ja 9-10 aastat hiljem kolmel katsealal (2 pooleli ja 1 lõpetatud raiega alal). Põhjus, miks roomav öövilge osadelt aladelt ära kadus, võib olla samblarinde katvuse tugev vähenemine. Kuna selle liigi risoomid paiknevad sambla sees, siis häirib teda lisaks raiele ka maapinna ettevalmistus. Lisaks kadus liik nendelt prooviruutudelt, kus ta jäi raiejäätmete alla. Roomava öövilke püsijäämiseks on oluline säilitada puutumata samblarinnet ja vältida raiejäätmete kuhjamist kasvukohale (Tullus *et al.*, 2019).

Soontaimede liigirikkus oli raie-eelses metsas madal, kuid kasvas kiiresti 3.-10.-da aastani pioneerliikide tekkimise tõttu (Beese *et al.* (2022). Seemnepangas ootajate seemned on suuremad ja kaetud paksu kestaga, kaitseks keskkonnatingimuste eest, näiteks vaarikas ning seemnevihmaga kohe peale raiet tekkiv põdrakanep (Liira, 2017). Peale raiet tekkisid ka käesolevas uuringus pioneerliigid, mis on valgusnõudlikud ja kiirekasvulised, näiteks harilik vaarikas, ahtalehine põdrakanep, väikeseõiene lemmalts ning puittaimede uuendus, nagu harilik mänd ja arukask.

Tullus *et al.* (2019) tulemustest selgus, et aegjärgse raie korral on raie mõju alustaimestikule liigi- ja liigirühmaspetsiifiline, kuna enamus soontaimeliikide rühmade ja maapinnal kasvavate sammaltaimede liigirikkus suurenes, kuid kõdupuidul ja tüvedel kasvavate sammaltaimede liigirikkus vähenes. Sammaltaimedest vähenesid nt helviksambla erilehise

kammtupiku katvus, samuti hariliku laaniku ja hariliku palusambla katvus, mis 3-4. aastaks pärast raiet polnud veel taastunud. See-eest lainja kaksikhamba katvus taastus 3.-4. aastaks ning pioneerliikide longus pirniku ja palu-karusambla katvused suurenesid märkimisväärselt.

Lõpetatud ja lõpetamata raiealade võrdlusest selgus, et suurim tõus puhma-rohurinde üldkatvuses oli toimunud 9-10 aastat peale raiet lõpetatud raiealadel, kus katvus oli kahekordistunud. Samblarindes oli tulemus täpselt vastupidine. 9-10 aastat peale raiet pooleli olevatel aladel jäi samblarinde katvus raie-eelsega samale tasemele, kuid lõpetatud aladel oli vähenenud poole võrra. Tulemustest saame järeldada, et samblarinne vajab elutegevuseks varjulisemat keskkonda kui puhma-rohurinne ja seetõttu samblarinne korduvate raiete järel taandub. Liigirikkuse võrdluses selgus, et nii soontaimede kui ka sammaltaimede liikide arv tõusis 9-10 aastat peale raiet nii pooleli kui ka lõpetatud aladel, põhjuseks pioneerliikide lisandumine. Samuti tõusis metsamarjade – mustika ja pohla keskmine katvus, kuna neile sobivad aegjärgse raiega tekkivad poolvarjulised tingimused ja nad taastuvad turberaiest põhjustatud häiringutest hästi. Liigilise koosseisu muutuste uuringust prooviruutudel selgus, et märkimisväärne muutus oli alustaimestiku liigilises koosseisus toimunud 9-10 aastat peale raiet lõpetatud raiealal. Lõpetatud ja pooleli olevatele aladele iseloomulikeks liikideks olid 9-10. aastaks harilik mänd ja kanarbik. Mäni elujõulise uuenduse teke on palumetsas ka turberaie põhieesmärk.

Võib väita, et aegjärgne raie on pikas perspektiivis männikute alustaimestikku säästev raie meetod, kuna põhiliste liikide katvus ja liigirikkus küll kõigub sõltuvalt raietest põhjustatud häiringutest, kuid liikide kadu ei ole kuigivõrd suur. Arvestades, et liigid mis taandusid, olid varjulembesed, võiks rakendada rohkem rohkete säilikpuudega aegjärgse raie teostamist. Sellega oleks võimalik säilitada veidi rohkem varjulisust metsas, tagada vanametsa element ning vähendada ühiskonnas negatiivset liigse raiumise kuvandit (KIK projekt nr 17441).

KOKKUVÕTE

Järjest rohkem tekitab Eesti ühiskonnale muret laialdane lageraie teostamine Eesti metsades. Heaks alternatiivseks lahenduseks sellele teiste turberaie viiside (hail- ja veerraie) kõrval on aegjärgne raie, mis ei muuda metsa välimust nii ootamatult ja harjumatult nagu lageraie ning lisaks säilitab ka paremini vanale metsale omased taimekooslused. Selles bakalaureusetöös uuriti aegjärgse raie mõjusid alustaimestikule männikutes. Alustaimestiku muutusi uuriti seitsme katseala (CO036-5, CO031-13, QT103-2, QT111-16, KS243-14, KS245-3 ja VL007-2) andmete põhjal. Analüüsiti, millised muutused toimuvad raiete järel puhma-rohu- ja samblarinde liigirikkuses ja liigilises koosseisus.

Töö käigus võrreldi välitööde käigus kõigilt katsealadelt kogutud andmeid. Kokku inventeeriti seitsme katseala peale 95 püsiprooviruutu. Iga püsiprooviruudu keskel tehti välitööde ajal ka puhma-rohurinde kohalt poolsfäärifotod, mida kasutati valgustingimuste kirjeldamiseks. Võrreldi püsiprooviruutudelt nelja vaatluse jooksul kogutud andmeid: 1)raie-eelsed andmed, 2)esimese suve andmed pärast aegjärgset raiet, 3)3-4 aastal pärast esimest raiejärku kogutud andmed ja 4)9-10 aastal pärast esimest järku kogutud andmed. Statistiline analüüs teostati R-keskkonnas, kus koostati korduvmõõtmiste segamudelid eesmärkide uurimiseks. Töös püstitati hüpotees, et ca 10 aastat pärast aegjärgse raie algust on soontaime- ja samblaliikide arv jätkuvalt suurem, võrreldes raie-eelsete andmetega ning osa varjulembeseid liike on kooslusest kadunud.

Kokkuvõtvalt võib öelda, et hüpotees pidas paika. Soontaime liikide arv kasvas, võrreldes raie-eelse seisuga 35 liigilt 57 liigini ning sammaltaimede arv tõusis 31 liigilt 35 liigini, langedes vahel raietest tingitud häiringute tõttu madalamale. Puhma-rohurinde protsentuaalne üldkatvus prooviruutul suurenes uute liikide lisandumise tõttu, kuid samblarinde üldkatvus vähenes märkimisväärselt. Keskmine sammaltaimede liikide arv prooviruudu kohta seevastu suurenes 3-4. aastast pärast raiet. Samuti tõusis ka keskmine soontaime liikide arv prooviruudu kohta. Kooslusest olid kadunud vaatlusperioodi lõpuks kaks soontaime liiki ja viis sammaltaime liiki.

Samuti selgus, et aegjärgse raie teostamine ei avalda negatiivset mõju metsamarjade – hariliku mustika ja hariliku pohla katvusele. Mõlema liigi keskmine protsentuaalne katvus prooviruudul taastus raie-järgselt ja tõusis 9-10. aastaks oluliselt, võrreldes raie-eelse seisuga ning mõlema liigi esinemissagedus prooviruutudel suurenes.

Lisaks selgus, et aegjärgse raie korral võrastiku avatuse tase suureneb peale igat raiejärku märgatavalt. Võrreldes ordineeritud taimestiku andmeid raie-eelse seisuga võib väita, et alustaimestiku liigiline koosseis erineb oluliselt alles lõpetatud aegjärgse raie aladel.

Võib järeldada, et aegjärgne raie ei tekita alustaimestikus suuri muutusi ning raie-eelse seisuga võrreldes ei kadunud liiga palju liike. Seega on tegemist säästva raieviisiga, mida võiks alternatiivina lageraiele männikutes laialdasemalt kasutada, et säilitada looduslik mitmekesisus ja liigirikkus.

KASUTATUD MATERJAL

- Bartels, S.F., Macdonald, S.E., Johnson, D., Caners, R.D., Spence, J.R.** (2018). Bryophyte abundance, diversity, and composition after retention harvest in boreal mixedwood forest. Canada. *Journal of Applied Ecology*. 55, 947-957
- Beese, W.J., Sandford, J.S., Harrison, M.L., Filipescu, C.N.** (2022). Understory vegetation response to alternative silvicultural systems in coastal British Columbia montane forests. Canada. *Forest Ecology and Management*. 504, 119817
- Eesti Metsanduse Arengukava aastani 2020. (2010). Keskkonnaministeerium.
https://www.riigiteataja.ee/aktiivisa/3180/2201/1003/Eesti_%20metsanduse_arengukava.pdf
(31.03.2023).
- Eesti statistika. Mets. Statistikaamet. [veebileht]
<https://www.stat.ee/et/avasta-statistikat/valdkonnad/keskkond/mets> (31.03.2023).
- Haessler, S., Bedford, L., Leduc, A., Bergeron, Y., Kranabetter, J.M.** (2002). Silvicultural Disturbance Severity and Plant Communities of the Southern Canadian Boreal Forest. *Silva Fennica* 36, 307-327
- Hannerz, M., Hånell, B.** (1997). Effects on the flora in Norway spruce forests following clearcutting and shelterwood cutting. *Forest Ecology and Management* 90, 29- 49
- Ingerpuu, N., Vellak, K.** (1998). Eesti sammalde määraja. Eesti loodusfoto. Tartu. 240 lk.
- Kalle, A.** (2020). Turberaie viiside mõju alustaimestikule Järvselja katsealal. Bakalaureusetöö. Eesti Eesti Maaülikooli Metsandus -ja maaehitusinstituut. Tartu. 33 lk.
- Laas, E., Uri, V., Valgepea, M.** (2011). Metsamajanduse alused: Õpik kõrgkoolidele. Tartu Ülikooli Kirjastus. Tartu. 863 lk.
- Laas, E.** (2012a). Turberaied võivad olla alternatiiviks lageraietele. – Eesti Mets. Nr. 2. [e-ajakiri]
http://vana.loodusajakiri.ee/eesti_mets/artikkel1265_1249.html (31.03.2023).
- Laas, E.** (2012b). Hajali raiumisega turberaie. – Eesti Mets. Nr. 3. [e-ajakiri]
http://vana.loodusajakiri.ee/eesti_mets/artikkel1289_1273.html (31.03.2023).
- Leht, M.** (2010). Eesti taimede määraja. Eesti loodusfoto. Tartu. 448 lk.
- Liira, J.** (2017). Kuidas raied metsas taimi mõjutavad? – Sinu Mets. Nr. 48 [e-ajakiri]
https://kodu.ut.ee/~jliira/Liira_2017_Sinu_Mets_2017_3_lk22_23_raie_okoloogia.pdf
(31.03.2023)
- Lõhmus, A., Remm, L.** (2017) Disentangling the effects of seminatural forestry on an ecosystem good: Bilberry (*Vaccinium myrtillus*) in Estonia. *Forest Ecology and Management* 404, 75-83
- Marozas, V., Sasnauskiene, J.** (2021). Changes of ground vegetation after shelter wood cutting in

- pine forests, the hemiboreal zone, Lithuania. *Baltic forestry* 27(1): 154
- Metsa majandamise eeskiri. (vastu võetud 27.12.2006, viimati jõustunud 06.04.2021). – *Riigi Teataja*. <https://www.riigiteataja.ee/akt/106042021008> (31.03.2023)
- Metsaregister. Metsaportaal. Keskkonnaagentuur.
<https://register.metsad.ee> (31.03.2023)
- Metsaseadus. (vastu võetud 07.06.2006, viimati jõustunud 27.05.2022). - *Riigi Teataja*.
<https://www.riigiteataja.ee/akt/127052022014> (31.03.2023).
- Miljon miksi metsanduses. RMK. [veebileht]
<https://www.rmke.ee/miljon-miksi-metsanduses> (31.03.2023).
- Noualhaguet, M., Work, T.T., Soubeyrand, M., Fenton, N.J.** (2023). Bryophyte community responses 20 years after forest management in boreal mixedwood forest. *Forest Ecology and Management* 531, 120804
- Palo, A.** (2020). Kuidas turberaiega metsa uuendada? – Sinu Mets. Nr. 61. [e-ajakiri]
https://www.eramets.ee/wp-content/uploads/2020/12/Sinu_Mets_2020_4_veeb.pdf
(31.03.2023).
- Tullus, H., Karoles, K., Lutter, R., Hordo, M., Tullus, T., Ots, K., Tishler, M., Ligi, P., Sopp, R., Sisask, S.** (2022). SA Keskkonnainvesteeringute Keskuse projekti „Turberaie, valikraie ja püsimetsanduse näidiskatsealade võrgustik ning juhend“ lõpparuanne.
https://mi.emu.ee/userfiles/instituudid/mi/MI/Projektid/KIK_17441_Koondaruanne_marts_2023.pdf (31.03.2023)
- Tullus, T., Tishler, M., Rosenvald, R., Tullus, A., Lutter, R., Tullus, H.** (2019). Early responses of vascular plant and bryophyte communities to uniform shelterwood cutting in hemiboreal Scots pine forests. *Forest Ecology and Management* 440, 70-78
- Vanha-Majamaa, I., Shorohova, E., Kushnevskaia, H., Jalonen, J.** (2017). Resilience of understory vegetation after variable retention felling in boreal Norway spruce forests – A ten-year perspective. *Forest Ecology and Management* 393, 12-28

Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Mina, Karel Kaja,
(sünnipäev 26.04.1997)

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud lõputöö Aegjärkse raie mõju männikute alustaimestikule, mille juhendaja on Tea Tullus,

- 1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,
- 1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja
- 1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;

3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor

_____ allkiri

Tartu, 15.05.2023

Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Luban lõputöö kaitsmisele.

_____ (juhendaja nimi ja allkiri)

_____ (kuupäev)